

**ANALISIS HARMONISA SISTEM PENYEARAH PADA GARDU TRAKSI
KERETA REL LISTRIK (KRL) JALUR JOGJA-SOLO**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata 1
pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik**

Oleh

MUHAMMAD RIZAL FALAFI

D400170136

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA**

2021

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS HARMONISA SISTEM PENYEARAH PADA GARDUTRAKSI
KERETA REL LISTRIK (KRL) JALUR JOGJA-SOLO**

PUBLIKASI ILMIAH

Oleh:

MUHAMMAD RIZAL FALAEI

D400170136

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen pembimbing



Bambang Hari Purwoto, S.T., M.T

NIK.654

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS HARMONISA SISTEM PENYEARAH PADA GARDUTRAKSI KERETA REL LISTRIK (KRL) JALUR JOGJA-SOLO

OLEH

MUHAMMAD RIZAL FALAEI

D400170136


Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari Selasa, 8 Juni 2021
dan dinyatakan telah memnuhi syarat

Dewan Penguji:

1. Ir. Bambang Hari Purwoto, M.T.
(Ketua Dewan Penguji)
2. Ir. Pratomo Budi Santoso, M.T.
(Anggota I Dewan Penguji)
3. Dedi Ary Prasetya, S.T., M.Eng
(Anggota II Dewan Penguji)


(.....)


(.....)


(.....)



Dekan,



Ir. Sri Sunarjono. M.T., Ph.D

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam publikasi ilmiah ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan disuatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 8 Juni 2021

Penulis



MUHAMMAD RIZAL FALAFI

D400170136

Analisis Harmonisa Sistem Penyearah Pada Gardu Traksi Kereta Rel Listrik (KRL)

Jalur Jogja-Solo

Abstrak

Kereta Rel Listrik (KRL) adalah kereta yang menggunakan energi listrik sebagai sumber daya utama. Daya listrik yang diperlukan oleh KRL ini nantinya disuplai menggunakan kawat konduktor yang membentang dibagian atas sepanjang rute KRL tersebut yang biasa disebut dengan sistem catenary atau LAA (Listrik Aliran Atas). Kereta Rel Listrik biasanya memerlukan 1500 VDC untuk tegangan kerjanya yang disuplai PLN sebesar 20 kV AC yang di turunkan menggunakan sistem penyearah. Komponen peyearah dapat membuat harmonisa yang bisa mendistorsi sumber tegangan dan dalam jangka panjang dapat menimbulkan kerusakan padaperalatan listrik. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai tegangan dan arus harmonisa serta menyusun filter harmonisa pada gardu traksi KRL. Penelitian distorsi harmonisa dikubikel 20kV pada gardu traksi Purwosari dan Gawok dengan Power Metering menghasilkan THD-v maksimum sebesar 2,33% (sesuai standar IEEE) dan THD-I maksimum sebesar 11,34% (sesuai standar IEEE).

Kata kunci: Harmonisa, Kereta Rel Listrik, Sistem penyearah, Tegangan dan arus harmonisa.

Abstract

Electric Rail Train (KRL), is a trains that use electrical energy as the main power source. The electrical power required by this KRL will be supplied using a conductor wire that runs along the top of the KRL route which is commonly referred to as the catenary system or LAA (Upper Flow Electricity). Electric Rail Trains usually require 1500 VDC for work, which is supplied by PLN of 20 kV AC which is lowered using a rectifier system. The rectifier component can create harmonics that can distort the voltage source and in the long run can cause damage to electrical equipment. The purpose of this research is to determine the value of voltage and harmonic currents and to arrange harmonic filters in KRL traction substations. Research on harmonic distortion in the 20kV sub-section at the Purwosari and Gawok traction substations with Power Metering resulted in a maximum THD-v of 2.33% (according to IEEE standards) and a maximum THD-I of 11.34% (according to IEEE standards).

Keywords: Harmonics, Electric Rail Car, Rectifier system, Voltage and current harmonics.

1. PENDAHULUAN

Dunia transportasi yang semakin maju dan berkembang, pihak pemerintah Jawa Tengah berinisiatif untuk mencoba membuat kereta rel listrik jalur Jogja-Solo. Sebelumnya terdapat kereta jalur Jogja-Solo yang bernama Prameks (Prambanan Express) tetapi kereta ini masih memakai diesel untuk pengoperasiannya. KRD Prameks ini dirasa kurang nyaman untuk digunakan, alhasil pemerintah mengganti KRD Prameks dengan KRL. KRL jalur Jogja-Solo adalah KRL pertama yang ada di daerah Jawa Tengah. KRL sangat membantu mengurangi rasa ketidaknyamanan dan

KRL juga dapat melambungkan nama Jawa Tengah. Ketidaknyamanan yang dimaksud adalah, ruangan terlalu sempit bahkan penumpang sampai berdesak desakan.

Kereta rel listrik (KRL) adalah alat transportasi umum yang paling penggunaannya listriknya besar. Kereta listrik pada dasarnya memiliki Arus searah atau DC, arus DC merupakan sistem operasi KRL. Kereta rel listrik sendiri membutuhkan 1500 VDC untuk mengoperasikannya namun pihak PLN menyuplai sebesar 20kV AC yang mana tidak sesuai dengan yang dibutuhkan kereta listrik karena AC adalah arus bolak balik sedangkan DC adalah arus searah. Supaya sesuai dan dapat digunakan untuk mengoperasikan kereta listrik maka arus yang disuplai PLN dalam bentuk AC harus diturunkan menggunakan trafo hubung Y atau trafo dua cabang yaitu cabang primer dan sekunder supaya menjadi arus DC atau menggunakan sistem penyearah (Prini et al., 2012). Penurunan arus AC menjadi DC menggunakan trafo hubung Y yang cabang primernya 1500 VAC dan cabang sekunder 1200 VAC. Penurunan atau perubahan arus dua arah menjadi arus searah juga diperlukannya gardu traksi yang telah dilengkapi oleh komponen rectifier (Zamzami et al., 2020).

Proses perubahan arus bolak balik menjadi searah mempunyai efek yang akan menjadi masalah yang cukup serius yaitu terjadinya distorsi harmonisa. Distorsi harmonisa merupakan distorsi periodik yang berasal dari gelombang sinus tegangan atau arus yang memiliki frekuensi kelipatan diluar bilangan satu terhadap frekuensi fundamental yaitu disebut dengan distorsi harmonisa (Gusmedi & Prihasari, 2007). Munculnya distorsi harmonisa dikarenakan adanya beban-beban non linear yang terhubung ke sistem distribusi (Rinas, 2013). Beban non linear adalah peralatan alat elektronik yang memiliki komponen semi konduktor dalam jumlah yang banyak dan menggunakan saklar sebagai perantara setiap siklus gelombang dari sumber tegangan (Adi Wirajaya et al., 2019). Menurut Syafrudin & Rachman (2018) Beban non linear merupakan salah satu komponen yang mengakibatkan arus sistem menjadi sangat terdistorsi apabila persentase kandungan harmonik arus THD sangat tinggi. Beberapa contoh yang termasuk dalam beban non linier dan menjadi penyumbang harmonik yaitu berupa aplikasi elektronika daya, UPS, pengaturan kecepatan motor dan lainnya (Adi Wirajaya et al., 2019).

Nilai THD yaitu ukuran nilai efektif harmonisa yang berasal dari gelombang yang telah terdistorsi (Adi Wirajaya et al., 2019). Terjadinya masalah distorsi harmonisa dapat mengakibatkan penurunan kinerja bahkan akan menimbulkan kerusakan pada komponen-komponen peralatan yang terdapat pada sistem tersebut (Rinas, 2013). Distorsi harmonisa juga menimbulkan gangguan yang berdampak pada sistem dan transformator, salah satu efek dari

distorsi harmonisa adalah kawat netral yang terhubung dengan sistem dan transformator akan berubah menjadi lebih panas sehingga dapat menimbulkan kebakaran dan memperoleh arus netral yang lebih besar dari pada arus phase (Belakang, 2013). Maka dari itu, perlu dilakukan pengukuran nilai harmonisa di gardu traksi untuk mengetahui apakah telah sejalan dengan standar yang berlaku atau melebihi batas standar. Pemasangan filter harmonik akan dilakukan apabila nilai harmonisa melebihi batas standar yang telah ditetapkan (Adi Wirajaya et al., 2019).

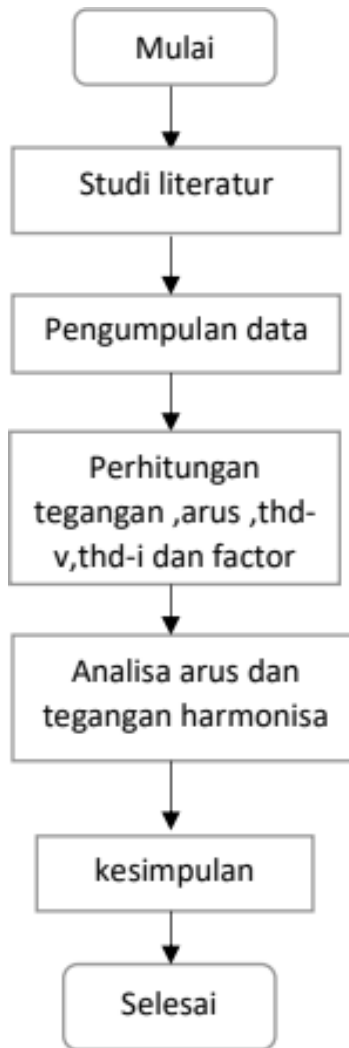
Penulis memiliki beberapa alasan mengapa melakukan analisa harmonisa sistem penyearah pada gardu KRL jalur Jogja-Solo. Alasan pertama yaitu dikarenakan penulis pernah melakukan praktik kerja nyata pada KRL jalur Jogja-Solo. Alasan yang kedua yaitu ingin membandingkan nilai harmonisa sistem penyearah pada gardu traksi KRL daerah Jabodetabek dengan KRL Jogja-Solo manakah yang lebih baik. Alasan ketiga yaitu dikarenakan belum pernah ada peneliti yang membahas tentang nilai harmonis sistem penyearah pada gardu KRL jalur Jogja-Solo.

Terkait permasalahan diatas penulis tertarik melakukan penelitian tentang **“ANALISIS HARMONISA SISTEM PENYEARAH PADA GARDU TRAKSI KERETA LISTRIK JALUR JOGJA-SOLO”**. Gardu traksi kereta listrik jalur Jogja-Solo yang dimaksud adalah gardu traksi yang terdapat di Stasiun Purwosari dan gardu traksi stasiun Gawok. Penulis melakukan penelitian ini bermaksud untuk mengetahui nilai harmonisa pada gardu traksi KRL serta merancang filter harmonisa untuk memitigasi harmonisa tersebut. Penelitian ini merupakan replika dari penelitian milik Zamzami et al (2020) yang berjudul **“STUDI HARMONISA AKIBAT KOMPONEN PENYEARAH PADA GARDU TRAKSI KERETA REL LISTRIK (KRL) JABODETABEK”**. Penelitian yang dilakukan peneliti memiliki beberapa perbedaan yaitu daerah operasinya KRL dan tahun penelitiannya. Penulis berharap penelitian ini akan dijadikan bahan pertimbangan untuk dapat diterapkan sehingga terdapat peningkatan efisiensi dan kestabilan sistem di KRL jalur Solo-Jogja.

2. METODE

Metode yang digunakan penulis/peneliti adalah mengolah dan menganalisa data yang didapatkan oleh penulis/peneliti. Data yang dimaksud seperti tegangan, arus, faktor daya, $thd-v$ dan $thd-i$. Penulis mengambil data untuk penelitian ini pada dua gardu traksi di Stasiun Purwosari dan Stasiun Gawok selama 2 hari.

Terdapat beberapa tahapan yang dilalui oleh penulis pada saat melakukan penelitian. Tahap - tahap tersebut antara lain :



Gambar 1. *flowchart* penelitian

a. Studi Literatur

Studi literatur adalah kegiatan yang dilakukan penulis dengan metode membaca dan mencatat jurnal yang berhubungan dengan penelitian penulis serta mengelola bahan penelitian.

b. Pengumpulan Data

Penulis/peneliti mencari dan mengumpulkan data-data berupa data - data skunder yang berasal dari *power metring* untuk diolah kembali.

c. Pengolahan Data

Peneliti mengolah data menggunakan rumus acuan yang sudah ditentukan pada Microsoft Excel.

d. Studi Bimbingan

Penulis mengadakan pertemuan dengan dosen pembimbing pada waktu yang telah ditentukan untuk membahas tentang penelitian yang akan dilakukan

e. Pembuatan Laporan

Pada tahap terakhir penulis menyusun laporan penelitian sebagai syarat tugas akhir yang diperoleh berdasarkan hasil penelitian penulis.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mengetahui nilai THD-i dan THD-v dpat dilihat di indikator *Power Metering* pada kubikel metering spesifiknya disisi sekunder transformator arus (CT) dan transformator tegangan (PT). Proses pengukuran dilakukan selama 2 hari di jam 13:20 dan 14:10 digardu traksi Purwosari dan Gawok. Nilai THD-v dan THD-i dapat dicari menggunakan rumus sebagaiberikut :

$$THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \times 100\% \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan :

V_n : Nilai tegangan harmonisa (V)

V_1 : Nilai fundamental (V)

I_n : Nilai arus harmonisa (A)

I_1 : Nilai arus fundamental (A)

n : Komponen harmonisa maksimum yang diamati

Data penelitian yang digunakan adalah data yang diambil di Gardu Traksi Purwosari dan Gardu traksi Gawok. Berikut data yang diperlukan dalam penelitian :

Tabel 1. Data Gardu Traksi Purwosari (fasa R)

Parameter	Hari ke-1	Hari ke-2
	(jam 13:20)	(jam 14:10)
Tegangan (V)	12,07	12,08
Arus (A)	10.07	9,423
Thd-V (R)	1,32%	1,8%
Thd-I (R)	11,34%	10,02%
Frekuensi (Hz)	50	50
P (KW)	168,417	197,159
S (KVA)	210,521	177,443
Q (KVAR)	218,779	148,852
Pf	0.973	0.977

Tabel 2. Data Gardu Traksi Purwosari (fasa S)

Parameter	Hari ke-1	Hari ke-2
	(jam 13:20)	(jam 14:10)
Tegangan (V)	12,12	12,12
Arus (A)	10,12	9,579
Thd-V (S)	1,6%	1,32%
Thd-I (S)	10,21%	7,82%
Frekuensi (Hz)	50	50
P (KW)	191,199	180,978
S (KVA)	212,443	201,086
Q (KVAR)	160,389	151,81
Pf	0.973	0.977

Tabel 3. Data Gardu Traksi Purwosari (fasa T)

Parameter	Hari ke-1	Hari ke-2
	(jam 13:20)	(jam 14:10)
Tegangan (V)	12,06	12,05
Arus (A)	10,07	9,545
Thd-V (T)	1,2%	1,33%
Thd-I (T)	9,74%	8,61%
Frekuensi (Hz)	50	50
P (KW)	189,312	179,294
S (KVA)	210,347	199,215
Q (KVAR)	158,809	150,402
Pf	0.973	0.977

Tabel 4. Data Gardu Traksi Gawok (fasa R)

Parameter	Hari ke-1	Hari ke-2
	(jam 13:20)	(jam 14:10)
Tegangan (V)	12,08	12,09
Arus (A)	9,887	9,686
Thd-V (R)	2.33%	2,11%
Thd-I (R)	8,15%	9,25%
Frekuensi (Hz)	50	50
P (KW)	186,180	182,546
S(KVA)	206,180	202,829
Q(KVAR)	156,182	153,132
Pf	0.978	0,974

Tabel 5. Data Gardu Traksi Gawok (fasa S)

Parameter	Hari ke-1	Hari ke-2
	(jam 13:20)	(jam 14:10)
Tegangan (V)	12,12	12,12
Arus (A)	9,863	9,560
Thd-V (S)	2,05%	1,9%
Thd-I (S)	8,03%	11,28%
Frekuensi (Hz)	50	50
P (KW)	186,343	180,687
S(KVA)	207,048	200,687
Q(KVAR)	156,318	151,511
Pf	0.978	0,974

Tabel 6. Data Gardu Traksi Gawok (fasa T)

Parameter	Hari ke-1	Hari ke-2
	(jam 13:20)	(jam 14:10)
Tegangan (V)	12,05	12,06
Arus (A)	10,07	9,822
Thd-V (T)	2,01%	2,11%
Thd-I (T)	8,76%	10,4%
Frekuensi (Hz)	50	50
P (KW)	189,155	184,650
S(KVA)	210,173	205,167
Q(KVAR)	158,679	154,897
Pf	0,978	0,974

PEMBAHASAN**Tabel 7. Pengukuran Arus Gardu traksi**

Waktu Pengukuran	Lokasi	Jam	Arus Fasa		
			IR	IS	IT
Hari ke 1	Purwosari	13:20	10,07 A	10,12 A	10,07 A
Hari ke 2		14:10	9,423 A	9,579 A	9,545 A
Hari ke 1	Gawok	13:20	9,887 A	9,863 A	10,07 A
Hari ke 2		14:10	9,686 A	9,560 A	9,822 A

$$\text{Arus fasa (IR rata-rata)} = \frac{IR+IS+IT}{3} \dots\dots\dots(3)$$

Tabel 8. Arus Rata-rata

Parameter	Lokasi	Waktu	
		Hari ke 1 jam 13:20	Hari ke 2 jam 14:10
Arus rata-rata (I rata-rata)	Purwosari	10,086 A	9,515 A
	Gawok	9,94 A	9,689 A

$$\text{Presentase arus fasa (\%I)} = \frac{I \text{ FASA}}{I \text{ rata-rata}} \dots\dots\dots(4)$$

$$\text{Presentase arus fasa R (\%R)} = \frac{IR}{I \text{ rata-rata}} \dots\dots\dots(5)$$

Tabel 9. Presentase Arus Fasa

Lokasi	Parameter	Hari ke 1 jam 13:20	Hari ke 2 jam 14:10
Purwosari	Arus fasa R (%)	0,998 A	0,99 A
	Arus fasa S (%)	1 A	1 A
	Arus fasa T (%)	0,998 A	1 A
Gawok	Arus fasa R (%)	1,051 A	0,999 A
	Arus fasa S (%)	0,992 A	0,986 A
	Arus fasa T (%)	1,013 A	1,013 A

Tabel 10. Hasil pengukuran Tegangan

Waktu Pengukuran	Lokasi	Jam	Tegangan		
			VR	VS	VT
Hari ke 1	Purwosari	13:20	12,07 kV	12,12 kV	12,06 kV
Hari ke 2		14:10	12,08 kV	12,12 kV	12,05 kV
Hari ke 1	Gawok	13:20	12,08 kV	12,12 kV	12,05 kV
Hari ke 2		14:10	12,09 kV	12,12 kV	12,06 kV

Berdasarkan tabel diatas dapat dilihat bahwa gardu traksi dalam kondisi tidak seimbang. Kondisi beban pada gardu traksi yang tidak seimbang disebabkan oleh adanya pembebanan terhadap nilai arus dan daya pada setiap fasa. Tegangan yang diperbolehkan turun sebesar 10% dan naik sebesar 5% dari tegangan standar 20kV hal ini berarti tegangan masih termasuk batas tegangan yang diperbolehkan berkisar antara 18-21 KV.

Tabel 11. THDv (%) dan THDi (%)

lokasi	parameter	Hari ke 1 jam 13:20			Hari ke 2 jam 14:10		
		R	S	T	R	S	T
Purwosari	THDv(%)	1,32	1,6	1,2	1,18	1,32	1,33
Gawok		2,33	2,05	2,01	2,11	1,9	2,11
Purwosari	THDi(%)	11,34	10,21	9,74	10,02	7,82	8,61
Gawok		8,15	8,30	8,76	9,25	11,28	10,4

Tabel 12. Standar Distorsi Harmonisa Tegangan Berdasarkan Standar IEEE

Distorsi Tegangan Harmonik Dalam % Nilai Fundamental			
Sistem Tegangan THD	< 69 kV 5.0	69 – 138 kV 2.5	>138 kV 1.5

Tabel 13. Standar Distorsi Harmonisa Arus erdasarkan Standar IEEE

Distorsi Arus Harmonik Maksimum Dalam % Nilai Fundamental	
Isc/IL	THD
<20	5.0
20 – 50	8.0
50 – 100	12.0
100 – 1000	15.0
>1000	20.0

Keterangan :

T H D = total harmonic distorstion

Isc = arus hubung singkat maksimum

IL = arus beban maksimum

Pada spektrum harmonisa arus dan tegangan frekuensi yang terlihat bukan frekuensi fundamentalnya saja (50Hz), Kondisi diatas menjelaskan bahwa sistem listrik pada GarduTraksi Purwosari dan Gawok tidak mendapati gangguan harmonisa, hal ini ditunjukkan dengan bentuk gelombang tegangan yang sinusoidal, sementara itu bentuk gelombang arus sinusoidal dengan distorsi total harmonisa arus (THDI) tidak lebih dari 15% dan distorsi total harmonisa tegangan (THDV) tidak lebih dari 5%(standar IEEE No. 519-1992).

Tabel 11 menunjukkan bahwa %THDv di Gardu traksi Purwosari dan Gawok berada pada kisaran 1,18% (fasa R pada hari kedua pukul 14:10) -1,6%(fasa S pada hari pertama pukul 13:20) pada Gardu Traksi Purwosari dan 1,9%(fasa S pada hari kedua pukul 14:10)-2,33%(fasa R pada hari pertama jam ke 13:20) pada Gardu Traksi Gawok. Apabila mengacu pada ketentuan IEEE bahwa % THDv paling besar adalah 5% maka %THDv di Gardu Traksi Purwosari dan Gawok saat ini masih memenuhi standar. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa % THDi di Gardu Traksi Purwosari dan Gawok berada pada kisaran 8,61%%(fasa T pada hari kedua jam 14:10)-10,02% (pada fasa R pada hari kedua jam ke 14:10) pada Gardu Traksi Purwosari dan 9,25% (pada fasa R pada hari kedua jam 14:10)-11,28% (pada fasa S pada Gardu Traksi Gawok). Apabila mengacu

pada standar %THDi 15% maka %THDi pada Gardu Traksi Purwosari dan Gawok saat ini masih memenuhi standar yang diperbolehkan.

Jika pada suatu pengukuran terdapat nilai harmonisa yang melebihi batas standar IEEE maka salah satu cara dengan penambahan filter pasif. Dalam membuat filter pasif perlu diperhatikan suatu parameter - parameter diantaranya adalah kompensasi daya reaktif (QVAR), reaktansi kapasitif (Xc), kapasitansi (C), reaktansi induktif (XL) dan induktansi (L). Untuk mengetahui nilai tersebut dapat menggunakan rumus berikut :

$$QVAR = \sqrt{\left[\frac{P}{PF_{awal}}\right]^2 - p^2} - \sqrt{\left[\frac{P}{PF_{akhir}}\right]^2 - p^2} \dots\dots\dots(6)$$

$$XC = \frac{V^2}{QVAR} \dots\dots\dots(7)$$

$$C = \frac{1}{2\pi f Xc} \dots\dots\dots(8)$$

$$XL = \frac{Xc}{n^2} \dots\dots\dots(9)$$

$$L = \frac{XL}{2\pi f} \dots\dots\dots(10)$$

Keterangan :

QVAR = Komponen daya reaktif (kVAR)

P = Daya aktif (kW)

PF = Faktor daya

V = Tegangan (V)

F = Frekuensi fundamental (Hz)

Xc = Reaktansi kapasitif (Ω)

C = Kapasitansi (μ f)

XL = Reaktansi induktif (Ω)

L = Induktansi (mH)

4. PENUTUP

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dijabarkan, penulis/peneliti dapat menarik kesimpulan sebagai berikut :

- a. Distorsi harmonisa tegangan dan arus pada gardu traksi KRL Purwosari dan Gawok sudah sesuai standar IEEE.
- b. Nilai THD-v pada gardu traksi KRL Purwosari dan Gawok tidak melebihi 5% yaitu sebesar 2,33%, sama dengan THD-v milik KRL Jabodetabek sebesar 3,43% yang mana juga tidak melebihi batas standar.
- c. Nilai THD-I pada gardu traksi KRL Purwosari dan Gawok tidak melebihi 20% yaitu sebesar 11,34%. (tidak melebihi batas standar)
- d. Nilai arus dan tagangan pada gardu tidak tetap atau selalu berubah. Perubahan yang terjadi pada gardu tersebut selalu berhubungan dengan perubahan beban.

PERSANTUNAN

Segala puji dan syukur saya panjatkan kehadirat Allah SWT, atas dan hidayah-Nya, sehingga saya dapat menyelesaikan penelitian ini sebagai tugas akhir dengan tepat waktu. Saya berharap hasil penelitian tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan mahasiswa fakultas teknik elektro di Univeritas Muhammadiyah Surakarta. Penulis memahami bahwa pada menyusun penulisan tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan, saran, dan semangat dari berbagai pihak. Maka pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Kedua orang tua yang selalu memberikan suport kepada penulis.
2. Bapak Bambang Hari Purwoto,S.T.,M.T sebagai dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu kepada penulis pada saat penulis ingin menanyakan sesuatu mengenai penelitian yang diajukan.
3. Bapak dan ibu dosen Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta yang sudah memberikan ilmunya selama masa perkuliahan.
4. Teman-teman teknik elektro 2017, teman-taman sahabat gabah yang selalu memberikan semangat kepada penulis.

Semoga segala amal kebaikan yang telah bapak dan ibu serta teman-teman yang berikan kepada saya mendapatkan balasan oleh Allah SWT. Saya menyadari bahwa tugas akhir saya ini masih jauh dari kata sempurna dan banyak kekurangan serta kelemahan. Sehingga saya mengharap kritik dan saran demi kesempurnaan tugas akhir saya ini. Demikian tugas akhir ini saya buat, semoga bermanfaat baik bagi saya maupun pihak lain yang membutuhkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi Wirajaya, I. P., Rinas, I. W., & Sukerayasa, I. W. (2019). Studi Analisa Pengaruh Total Harmonic Distortion (THD) terhadap Rugi-Rugi, Efisiensi, dan Kapasitas Kerja Transformator pada Penyulang Kerobokan. *Jurnal SPEKTRUM*, 6(2), 121. <https://doi.org/10.24843/spektrum.2019.v06.i02.p17>
- Belakang, L. (2013). Mutiar Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Sriwijaya Jalan Srijaya Negara Bukit Besar (30139) Palembang. 5, 15–22.
- Gusmedi, H., & Priliasari, F. (2007). Studi Pengaruh Harmonisa pada Arus Listrik Terhadap Besarnya Penurunan Kapasitas Daya (Kva) Terpasang Transformator Distribusi (Studi Kasus : Trafo Distribusi PT. PLN (Persero) wilayah Bekasi Raya). *Jurnal Rekayasa Dan Teknologi Elektro*, 1(1), 43–49.
- Prini, S. U., Anton, H., & Erlina, T. (2012). Akusisi Data Suhu Pada *Rescue* Robot dan Monitoring Objek Menggunakan Aplikasi *WEBCAM* Berbasis Android. Padang : *Jurnal Universitas Andalas*, 9(3).
- Rinas, I. (2013). Simulasi Penggunaan Filter Pasif, Filter Aktif Dan Filter Hybrid Shunt Untuk Meredam Meningkatnya Distorsi Harmonisa Yang Disebabkan Oleh Munculnya Gangguan Resonansi. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 12(2), 9–15.
- Syafrudin, R., & Rachman, A. H. A. (2018). Analisis Total Harmonik Distorsi Pada Panel Acpdb Akibat Beban *Non Linear*. *Jurnal Online Sekolah Tinggi Teknologi Mandala*, 13(2), 33–44.
- Zamzami, A., Ardita Y, I. M., & Husnayain, F. (2020). Studi Harmonisa Akibat Komponen Penyearah Pada Gardu Traksi Kereta Rel Listrik (KRL). *Cyclotron*, 3(2), 1–6. <https://doi.org/10.30651/cl.v3i2.5570>.